



LA ALIMENTACIÓN CON INSECTOS ¿PUEDE REDUCIR EL ESTRÉS EN UN PEZ?

INSECT FEEDING, CAN REDUCE STRESS IN A FISH?

Sánchez-Velazquez Julieta¹, Peña-Herrejón Guillermo Abraham², García-Trejo Juan Fernando^{3*}

¹ Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera Chichimequillas, s/n km 1, C.P. 76265, Amazcala, El Marqués, Querétaro, México.

² Facultad de Ingeniería, Campus Concá, Universidad Autónoma de Querétaro, Valle Agrícola s/n, Concá y C.P. 76410, Arroyo Seco, Querétaro, México

³ Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera Chichimequillas, s/n km 1, C.P. 76265, Amazcala, El Marqués, Querétaro, México

* Autor de correspondencia, correo: juanfernando77@gmail.com

Resumen

La acuicultura se define como la cría de organismos acuáticos mediante la intervención del hombre, y es una actividad productiva que encuentra en expansión, ya que el humano ha incrementado el consumo de fuentes proteicas como el pescado. Por ello, los sistemas de producción intensiva se han convertido en la forma más eficiente y segura de generar dicho producto comercial. Sin embargo, a lo largo del ciclo productivo los peces son afectados por las prácticas acuícolas y generan en ellos estrés. Por ejemplo, se ha visto que las redes de pesca dañan la mucosa lo que vuelve más vulnerable al pez de ser afectado por infecciones bacterianas; además, al tratar de escapar se agotan físicamente y algunos peces llegan a morir. Por lo tanto, en la búsqueda de estrategias para manejar el estrés, los alimentos elaborados con insectos se han convertido en una opción con gran potencial. En este contexto, la composición química de algunos insectos les confiere a los peces la capacidad de soportar el daño causado por las prácticas acuícolas; algunos de los alimentos ya probados con efectos positivos en los peces son aquellos elaborados con grillo doméstico, mosca doméstica, mosca soldado negra, saltamontes y escarabajos.

Palabras clave: Cultivo de peces, manejo de estrés, alimentación alternativa, insectos

Abstract

Aquaculture is defined as the rearing of aquatic organisms through human intervention, and it is a productive activity that is expanding, since humans have increased the consumption of protein sources such as fish. For this reason, intensive production systems have become the most efficient and safe way to generate this commercial product. However, throughout the production cycle, fish are affected by aquaculture practices and generate stress in them. For example, it has been seen that fishing nets damage the mucosa which makes the fish more vulnerable to being affected by bacterial infections; in addition, when trying to escape they are physically exhausted and some fish die. Therefore, in the search for strategies to manage stress, foods made with insects have become an option with great potential. In this context, the chemical composition of some insects gives fish the ability to withstand the damage caused by aquaculture practices; Some of the foods that have already been tested with positive effects on fish are those made from house cricket, house fly, black soldier fly, grasshopper and beetle.

Keywords: Fish farming, stress management, alternative feeding, insects

1. Introducción

La acuicultura ha sido el sector de producción de alimentos con mayor crecimiento a nivel mundial. Desde 1970, la acuicultura ha mostrado una tasa de crecimiento promedio anual del 7.5% (FAO, 2020) dejando atrás a la avicultura, la cual se ha considerado como el sector productor de alimento con mayor crecimiento en cantidad a nivel global (Edwards, Zhang, Belton, & Little, 2019), pero ha presentado una tasa de crecimiento promedio anual (5 %) más lenta en comparación con la acuicultura (Mottet & Tempio, 2017). Así, para atender la creciente demanda de productos acuícolas, ha sido necesaria la intensificación de los sistemas productivos (Yogev, Barnes, Giladi, & Gross, 2020),

Los producción acuícola intensiva requieren el uso sistemas de recirculación de agua en los que se utilizan densidades altas de peces (20 y 100 kg/m³), alimentación precisa, y el control de la calidad de la agua (Yogev et al., 2020), es decir, mantener en niveles específicos para la especie a cultivar la temperatura, salinidad, dureza, pH, sólidos disueltos, concentración de amonio, oxígeno disuelto (Ebeling & Timmons, 2012), por mencionar los más importantes. Otra de las prácticas en la producción intensiva es la adquisición y el uso de alevines, que son las crías de peces (Hong et al., 2019), y con ellos se dará inicio al ciclo del cultivo. Cabe mencionar que las unidades de producción de alevines generalmente se ubican lejos de las granjas de producción acuícola intensiva, por lo que deben ser transportados (Hong et al., 2019).

Woyrnarovich & Horváth, (1981) describen un método para el transporte de los alevines en el que son utilizadas bolsas de plástico con 5 a 7 L de agua de la llave, se colocan de 5 000 a 8 000 alevines y se introduce hasta el fondo de la bolsa la tubería que está conectada a un tanque de oxígeno para suministrar a presión de 15 a 20 L del gas. El traslado de los peces puede ser por automóvil, barco o avión y durar de horas a días (Hong et al., 2019). Este proceso parece simple para quien lo practica, pero no para el pez. De hecho, el estrés se relaciona con el transporte de peces (Harmon, 2009), pues los peces son expuestos a múltiples estresores. Vanderzwalmen et al., (2019) menciona que el transporte de peces presenta factores estresantes, tal como el manejo previo al traslado y la pérdida de la calidad del agua durante el traslado, así como el aumento de la susceptibilidad

a infecciones después del traslado. Así, diferentes estresores o factores estresantes, ya sea físicos, químicos, biológicos o procedurales existen en diferentes prácticas de la acuicultura (Kumar, Thirunavukkarasu, Subburaj, & Thiagarajan, 2015). De acuerdo con Francis-Floyd, (2002) el estrés es causado por colocar a un pez en una situación que está más allá del nivel que tolera, y en tal condición, el sistema nervioso y endócrino del pez interactúan mediante hormonas y metabolitos para hacer de él un organismo resiliente, es decir que pueda enfrentar el medio adverso (Herrera et al., 2020).

La alimentación es una de las estrategias aplicadas para el manejo de estrés en la acuicultura. Existe evidencia científica sobre el uso de aditivos como prebióticos (Hoseinifar, Esteban, Cuesta, & Sun, 2015), probióticos (Mohapatra, Chakraborty, Kumar, DeBoeck, & Mohanta, 2013), extractos naturales de plantas (Reverter, Bontemps, Lecchini, Banaigs, & Sasal, 2014) para mitigar el estrés en los peces. Sin embargo, no se han considerado a los insectos en la alimentación de los peces como una posible alternativa para el manejo del estrés en la acuicultura.

Los insectos poseen en su composición aminoácidos, minerales (Köhler, Kariuki, Lambert, & Biesalski, 2019), ácidos grasos y carbohidratos (Kuntadi, Adalina, & Maharani, 2018) que pueden promover resiliencia en los peces cuando son sometidos a estrés asociado a las prácticas realizadas durante el cultivo de peces. Por lo que, en el presente trabajo se revisa en primer lugar la relevancia de la bioseguridad acuícola y las prácticas durante el cultivo como factores estresantes, posteriormente se describen las estrategias empleadas para mitigar el estrés en la acuicultura, y finalmente se aborda el uso de insectos en la alimentación de los peces para manejar el estrés en la acuicultura.

2. La acuicultura y sus prácticas como factores estresantes

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, “*la gente nunca había comido tanto pescado como ahora*” (FAO, 2018). Entre 1961 a 2017, el consumo de pescado per cápita se ha duplicado, en los países desarrollados el consumo aparente aumentó de 17.4 kg a 24.4 kg, mientras que los países en desarrollo

el consumo creció de 5.2 kg a 19.4 kg, y en los países menos desarrollados de 6.1 kg a 12 kg (FAO, 2020). Por ello en la búsqueda de nuevas opciones para satisfacer esta demanda surge la acuicultura; ésta se define como la crianza de organismos acuáticos en agua dulce, salobre, o marina bajo condiciones controladas y/o semi controladas, en donde interviene la mano del hombre (FAO, 2018).

Actualmente la acuicultura representa una estrategia que aporta significativamente a la seguridad alimentaria (Flores, 2019), pero también enfrenta retos y oportunidades establecidos en La agenda 2030 y las metas del desarrollo sostenible, uno de ellos retos es bioseguridad (Hambrey, 2017). La bioseguridad es el grupo de estrategias para prevenir, controlar y/o erradicar agentes causantes de enfermedades (Assefa & Abunna, 2018). El estrés en los peces es uno de los criterios que se establecen en la sanidad acuícola, por que representa un riesgo relacionado con enfermedades (García & Calvario, 2008)

Francis-Floyd, (2002) también explica la existencia de factores estresantes en la acuicultura y los clasifica como: 1. Químicos: baja nivel de oxígeno disuelto en el agua, dietas deficientes de nutrientes, acumulación de amonio o nitritos en el agua, 2. Biológicos: amontonamiento y microorganismos, 3. Físico: temperatura, luz y sonidos y 4: Manejo: transporte y tratamientos de enfermedades. En la Tabla 1 se muestran los trabajos dedicados al estudio del efecto de factores estresantes presentes en las diferentes etapas de un cultivo acuícola.

El estrés está directamente relacionado a la aparición de enfermedades y la necesidad de usar compuestos químicos en alguna de las etapas de un ciclo productivo, lo que pueden representar un peligro para la salud humana. Por lo que la mayor parte de las acciones en la acuicultura deben encaminarse a la prevención de enfermedades en los peces lo que tendrá un efecto positivo en las características de aptitud para el consumo del producto.

Tabla 1. Factores estresantes y su efecto sobre el estrés de los peces en las diferentes etapas de cultivo

Etapas de cultivo	Factores estresante	Respuesta al factor físico	Referencia
Reproducción	Extracción de huevecillos	Agotamiento físico y asfixia	Sneddon, Wolfende, y Thomson, 2016
Siembra	Transporte de alevines a los estanques para continuar con la etapa de engorda	Mueren por falta de oxígeno	Vanderzwalmen y col., 2018
Engorda	Cuando no se seleccionan por talla	Los peces forman jerarquías y los subordinados dejan de crecer	Herrero Ramón, 2007
	Vacunación	Agotamiento físico	Sharpe, 2007
	Dispositivos para tratamiento de agua (aireadores o extractores de agua)	Genera heridas externas	Bierschenk, Pander, Mueller, y Geist, 2019
	Alimentación	El alimento no ingerido contamina el agua	Shefat y Abdul, 2018
	Calidad de agua	Los peces nadan de forma agitada y aumenta el cortisol en su sangre	Cook y Herbert, 2012
Cosecha	Sacrificio	Los peces sienten dolor	Sigholt y col., 1997

La respuesta al estrés en los peces sucede en tres etapas (Mateus y col., 2017). La primera fase es de alarma o de “lucha/huida” y es regulada por el sistema nervioso quien promueve la liberación de cortisol en la sangre de los peces y en los primeros minutos después de que el pez percibió al agente estresante (Jerez-Cepa y col., 2019).

La segunda fase es el estado de resistencia, que comienza 48 horas después de que el pez tuvo contacto con el agente estresor; esta fase se caracteriza por la resolución de la respuesta a la “lucha o huida” (Mateus y col., 2017). Cuando los peces tienen una elevada concentración de cortisol en sangre se desencadena una serie de eventos en su cuerpo para tratar de ajustarlo, y hacer frente a la situación de supervivencia. En el hígado se promueven cambios en el metabolismo; es decir, ya se no usarán las proteínas para crecer, ahora a partir de ellas se obtendrá la energía para respirar y nadar más rápido. Incluso, la concentración de glucosa también aumentará en la sangre, porque es la forma más rápida de obtener energía para tratar de escapar; de la misma manera las grasas serán transformadas a compuestos más sencillos como glicerol y ácidos grasos libres, para usarlos también como fuente energética (Gabriel y Akinrotimi, 2011 y Jerez-Cepa et al., 2019).

La tercera fase es la de agotamiento, y es el resultado al estímulo o amenaza de forma continua; en esta etapa se hace referencia a todo el cuerpo del pez, porque surgen cambios en el crecimiento, metabolismo, supervivencia y reproducción (Gabriel y Akinrotimi, 2011). Mackett, Tam, & Fryer, (1992) evaluaron el efecto de un ambiente ácido (pH 4) sobre truchas (*Salvelinus fontinalis*) de 13 meses de edad. El peso inicial de los organismos fue de 206 ± 5 g, pero después de 10 semanas su peso fue de aproximadamente 150 g, el cual disminuyó significativamente en comparación con los peces expuestos a un pH neutro (7) con peso final de 300 g. También se observó la reducción de osmolaridad plasmática 315 mOsm/L a 290 mOsm/L, el pH sanguíneo 7.5 a 7.1 de acuerdo con los valores obtenidos al inicio y al final del experimento respectivamente. Los organismos en pH ácido presentaron un valor final de glucosa en plasma de 500 mg/dL significativamente más altos que los mostrados por los peces a pH neutro (< 200 mg/dL). También se ha observado que a un pH ácido hembras de truchas (*Salvelinus fontinalis*) no liberan los huevecillos y la fertilización de los huevecillos disminuye. Pickering, Pottinger, Carragher, & Sumpter, (1987) observaron la disminución de testosterona en machos maduros de trucha café (*Salmo trutta* L.) [326 ± 25.2 g]

al someterlos a estrés crónico por confinamiento. Los peces sometidos a estrés mostraron después de un mes de confinamiento un valor significativamente menor de 4.9 ± 0.2 ng/mL de testosterona en comparación con el grupo control que no fue sometido al estrés (9.5 ± 0.4 ng/mL), pero la concentración de cortisol para el grupo bajo estrés se mantuvo mayor (14.1 ± 4.5 ng/mL) en comparación con el grupo control (2.1 ± 0.2 ng/mL). lo que sugiere la relación de supresión de funciones reproductoras inducida por estrés. Mazur & Iwama, (1993) revisaron el efecto de la densidad del cultivo sobre la supervivencia de salmón (*Oncorhynchus tshawytscha*) (5.7 ± 1.5 g), una densidad de 64 kg/m³ mostró para el 3.9 un 50% de mortalidad, mientras que una densidad de 8 kg/m³ mostró mortalidad (50%) hasta el día 9.3

Pickering & Pottinger, (1989) estudiaron el efecto inmunosupresor del cortisol en peces, y mencionan la concentración de cortisol en un salmón sin efecto de estrés 0-5 ng/mL, en estrés agudo (confinamiento por 1 hora) causa la elevación de plasma hasta 40 - 200 ng/mL con el regreso al nivel basal en 24 a 48 h, pero bajo estrés crónico (confinamiento continuo o hacinamiento) el cortisol en plasma se eleva hasta 10 ng/mL por un periodo de 4 semanas hasta que ocurre la aclimatación, en esta última condición la trucha es más susceptible a infecciones. Esto coincide con Maule, Schreck, & Kaattari, (1987) el incremento de cortisol a nivel crónico (0.5 ng/mL a 14 ng/L) provocó en salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) la disminución del número de células secretoras de anticuerpos en peces inmunizados con el antígeno para *Vibrio anguillarum*. Los peces infectados por muestran signos como hemorragia en las branquias, opacidad en la córnea e inflamación en los ojos (Gao et al., 2018).

En resumen, los peces pueden llegar a ser estresados por diferentes prácticas realizadas durante su cultivo, lo que llega a resultar en enfermedades, así como la disminución del crecimiento y supervivencia. Por lo que el manejo del estrés se convierte en un practica que debe considerarse para cumplir con los criterios de sanidad acuícola.

3.El manejo del estrés en los peces

Diferentes autores han descrito el manejo de estrés en los peces para la acuicultura. Gabriel & Akinrotimi, (2011) muestran una clasificación de prácticas que incluye: 1) mantener la calidad del agua en el cultivo al prevenir la acumulación de desechos orgánicos como heces fecales, alimento no consumido y amoníaco (< 0.01 mg/L NH₃),

controlar pH y temperatura en el nivel tolerante para la especie, así como el nivel de oxígeno disuelto en 5 mg/L, 2) densidad de población apropiada manteniendo el número de peces que el sistema de cultivo puede soportar sin exceder su capacidad de carga, 3) desinfección del sistema de cultivo, 4) manejo adecuado de los peces durante el transporte. Por su parte, Kumar, Thirunavukkarasu, Subburaj, & Thiagarajan, (2015) establecen para mitigar el estrés los métodos químicos (alimentación) y métodos no químicos (manejo ambiental). Cabe resaltar que los métodos no químicos involucran el manejo y control de parámetros físicos y químicos de la calidad de agua, y su relación es directamente con las condiciones ambientales del cultivo y no con el pez. Mientras que los métodos químicos sí se relacionan directamente con el pez por que el manejo es a través de la alimentación. Es importante mencionar que la adquisición, instalación y mantenimiento de los dispositivos, equipos o sistemas de filtración para mantener la calidad de agua se convierten en gastos que debe absorber el productor (Sneddon y col., 2016) Por otra parte, los métodos químicos comprenden la alimentación de los peces para conferirles resiliencia, es decir la capacidad de enfrentar el estrés (Herrera y col., 2020). Ciji & Akhtar, (2021) también mencionan que es posible a través la alimentación, y se clasifican el uso de compuestos nutritivos (aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas, minerales, carotenoides y nucleótidos) y compuestos no nutritivos (derivados biológicos; prebióticos, probióticos, extractos de plantas, derivados de bacterias, levaduras, microalgas,

polisacáridos, o derivados sintéticos; propilenglicol, ácidos orgánicos y aditivos de arcilla).

La idea de usar la alimentación en el manejo del estrés es para fortalecer el sistema inmune (Fernández-Alacid y col., 2019), o al modular la actividad celular que les permita ajustar su medio interno a pesar del daño o afectación negativa causados por las prácticas acuícolas (Costas, Rêgo, Conceição, Dias, y Afonso, 2013). De hecho, está comprobado que la alimentación que le permite a los peces enfrentar fluctuaciones en su medio o algún tipo de daño es la alternativa al uso de especies genéticamente modificadas (Lim y Webster, 2001).

La alimentación natural de peces carnívoros y omnívoros incluye insectos (Henry, Gasco, Piccolo, & Fountoulaki, 2015), y se debe a la riqueza de nutrientes que contienen como proteína, grasas, vitaminas y minerales (Tran, Heuzé, & Makkar, 2015). Incluso, Józefiak y Engberg, (2017) mencionan que los insectos tienen componentes antimicrobianos. Por lo que, para la práctica acuícola, los insectos también resultan ser una estrategia preventiva en el manejo del estrés, para dejar a un lado las acciones correctivas como el uso de vacunas que pueden ser costosas y no siempre son efectivas contra la gran cantidad de importantes enfermedades comerciales (Nogales Mérida y col., 2019). En la Tabla 2 se encuentran ejemplos de cómo los insectos incluidos en la alimentación para peces han resultado en beneficio para su salud. Pero entonces ¿Qué hay de los insectos y por qué beneficiaría la salud de los peces?

Tabla 2. Efecto en la salud de los peces y su crecimiento, al ser alimentados con insectos

Insecto	Especie	Efecto en el pez	Referencia
Gusano de escarabajo [<i>Tenebrio molitor</i>]	Pez mandarín [<i>Siniperca scherzeri</i>]	Mejora su salud y activa respuesta antioxidante	Sankian, Khosravi, Kim, y Lee, 2018
Mosca soldado negra [<i>Hermetia illucens</i>]	Salmón atlántico [<i>Salmo salar</i>]	Baja la bioacumulación de especies de arsénico	Biancarosa y col., 2019
Mosca doméstica [<i>Musca domestica</i>]	Pargo japonés [<i>Pragus major</i>]	Promueve el crecimiento y mejora la respuesta inmune	Ido y col., 2015
Gusano de seda [<i>Bombyx mori</i> L.]	Carpa [<i>Cyprinus carpio</i>]	Mejora la respuesta antioxidante	Xu y col., 2018
Grillo [<i>Gryllus bimaculatus</i>]	Pez gato africano [<i>Clarias gariepinus</i>]	Promueve crecimiento y mejora la respuesta antioxidante	Taufek y col., 2016
Saltamontes [<i>Zonocerus variegatus</i>]	Pez gato africano [<i>Clarias gariepinus</i>] Burchall. 1822	Promueve el crecimiento	Alegbeleye, Obasa, Olude, Otubu, y Jimoh, 2012

4. Los insectos en la alimentación acuícola

Vale la pena mencionar antes que los insectos pertenecen a la clase Insecta o Hexapoda, miembros del filo Arthropoda, y presentan cuerpos divididos en tres segmentos; cabeza, tórax y abdomen con tres pares de extremidades articuladas vulgarmente conocidas como patas; cuando los insectos son adultos presentan uno o dos pares de alas, y están cubiertos por su esqueleto o exoesqueleto (Wigglesworth, 2020). Existen diferentes órdenes de insectos que se clasifican en Coleoptera [escarabajos], Lepidoptera [mariposas y polillas], Hymenoptera [hormigas, abejas y avispas] y Diptera [moscas verdaderas] (Wigglesworth, 2020). Los insectos que más se han utilizado en la alimentación de los peces son: mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), mosca doméstica (*Musca domestica*), gusano de escarabajos (*Tenebrio molitor*), gusano de seda (*Antheraea sp*), grillos (*Acheta domestica*), y saltamontes (*Zonocerus variegatus*) (Makkar, Tran, Heuzé, y Ankers, 2014). En la Tabla 3 se muestra el insecto y el compuesto más abundante que podría favorecer el desarrollo de los peces, Henry y colaboradores en 2015 hizo una revisión del uso de insectos en la alimentación de los peces (Henry, Gasco, Piccolo, y Fountoulaki, 2015)

Los peces de interés comercial tienen diferentes requerimientos de ácidos grasos esenciales, pero en general los peces de agua salada son incapaces de sintetizar ácidos grasos de cadena muy larga (very long chain polyunsaturated fatty acids, VLCPUFAs por sus siglas en inglés), tal como el ácido araquidónico (20:4n-6, ARA), ácido eicosapentanoico (20:5n-3, EPA) y el ácido docosahexanoico (22:6n-3, DHA) (Tocher, 2010). En cambio, los peces de agua dulce generalmente son capaces de sintetizar VLCPUFAs, pero lo hacen a partir del ácido linoleico (18:2n-6, LA) o ácido linolénico (18:3n-3, LNA) para sintetizar los ácidos grasos de cadenas muy largas (Glencross y Rutherford, 2009). De la misma manera, son 10 los aminoácidos considerados indispensables en la alimentación de los peces, aquellos que no pueden formarse en el cuerpo y los organismos deben consumirlo a partir del alimento, entre ellos están: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y

valina (Tran et al., 2015). La larva de *Musca domestica* ofrece altas concentraciones de arginina, seguido de la *Hermetia illucens* que ella aunque presente el valor bajo de histidina Nogales-Mérida y col., (2019) menciona que podría cubrir el requerimiento necesario para peces como *Heteropneustes fossilis* dicha especie utiliza a la histidina para aumentar la producción de células rojas sanguíneas (Khan y Abidi, 2014) lo que podría incrementar el transporte de oxígeno en todo su cuerpo y afrontar condiciones de baja concentración de oxígeno disuelto en el agua. También se ha demostrado la necesidad de dicho aminoácido en el salmón Atlántico al que le permite que no padezcan cataratas y sobrevivan a cambios bruscos de agua dulce a agua salada (Sambraus y col., 2017). Existe evidencia científica que al alimentar a la tilapia con la mosca doméstica (*Musca domestica*) crece igual que con la tradicional harina de pescado, y lo más sobresaliente del estudio es que disminuyó la concentración de nitrógeno y fósforo en el agua, provenientes de la excreción de los peces, lo que representa para la acuicultura una solución para el problema del tratamiento del agua durante la producción acuícola (Wang y col., 2017).

Las vitaminas como la C es uno de los nutrientes que confiere a los peces la capacidad de tolerar un ambiente con niveles tóxicos NO₂, nitrito. Mientras que Al-Amoudi en 1987 demostró que si se alimentan con sales a los peces de agua dulce por un cierto lapso, se estimulan los mecanismos dedicados a excretar sales, algo que hacen con normalidad los peces que cambian de agua dulce a agua salada para completar el ciclo productivo como el salmón (Basulto, 1976).

Es justamente por la composición química que poseen algunos insectos es que se consideran una solución para la alimentación en la acuicultura ya que además de promover el desarrollo y crecimiento de los peces pueden brindar salud y bienestar para enfrentar el difícil manejo al que están sometidos en los sistemas de producción intensiva. En la Tabla 3 se muestra una lista de insectos con potencial para ser utilizados en la alimentación acuícola por el compuesto que contienen y es de interés para la resiliencia de los peces.

Tabla 3. Compuesto químico presente en los insectos que requieren los peces para su desarrollo

Insecto	Compuesto	Referencia
[<i>Tenebrio molitor</i>]	Ácido linoléico	Gutierrez y Gómez 2008
[<i>Hermetia illucens</i>]	Fenilalanina y tirosina	Henry y col., 2015
[<i>Musca domestica</i>]	Arginina	Nogales Mérida y col., (2019)
[<i>Bombyx mori</i> L.]	Vitamina D	Oonincx y col., 2018
[<i>Gryllus bimaculatus</i>]	Ácido linoléico, ácido eicosapentanóico	Liland y col., 2017
[<i>Zonocerus variegatus</i>]	Ácido linoléico, ácido eicosapentanóico ácido docosahexanoico, arginina, histidina	Henry y col., 2015

Conclusión

La sociedad se beneficia de los sistemas de producción intensiva, los cuales permiten que se disponga de proteína de alta de calidad, como es la de los peces. No obstante, en la operación de dichos sistemas los peces suelen sufrir daños que promueven la respuesta al estrés; como consecuencia, los peces se enferman o bien disminuyen su crecimiento. Por eso, se buscan estrategias para disminuir los efectos adversos provocados por el estrés, una de ellas es la formulación de alimentos considerando a los insectos como ingredientes; los insectos poseen en su composición sustancias que aumentan la capacidad de los peces para soportar el manejo al que están sometidos durante su cultivo. Dentro de los insectos, la larva de mosca soldado tiene un gran potencial para usarse en la elaboración de alimentos, debido a que en su composición posee los ácidos grasos, la proteína, vitaminas y minerales requeridos para la nutrición y salud de algunos peces con interés comercial. Los alimentos elaborados con insectos son una alternativa prometedora para promover el bienestar animal de los peces de granja, y contribuir al desarrollo sostenible de la acuicultura.

Agradecimientos

Al CONACYT por financiar el trabajo doctoral bajo el acuerdo número: 632434, a las profesoras Dra. Claudia Gutiérrez Antonio y Dra. Hilda Romero Zepeda por sus recomendaciones y acompañamiento.

Referencias bibliográficas

- Al-Amoudi, M. M. (1987). The effect of high salt diet on the direct transfer of *Oreochromis mossambicus*, *O. spilurus* and *O. aureus/O. niloticus* hybrids to sea water. *Aquaculture*, 64(4), 333-338. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90195-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90195-5)
- Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., & Jimoh, W. (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper [*Zonocerus variegatus* L.] for African catfish *Clarias gariepinus* [Burchell. 1822] fingerlings. *Aquaculture Research*, 43(3), 412-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x>
- Assefa, A., & Abunna, F. (2018). Maintenance of Fish Health in Aquaculture: Review of Epidemiological Approaches for Prevention and Control of Infectious Disease of Fish. *Veterinary Medicine International*, 2018, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/5432497>
- Basulto, S. (1976). Induced saltwater tolerance in connection with inorganic salts in the feeding of Atlantic salmon [*Salmo salar* L.]. *Aquaculture*, 8(1), 45-55. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(76\)90018-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(76)90018-1)
- Biancarosa, I., Sele, V., Belghit, I., Ømsrud, R., Lock, E.-J., & Amlund, H. (2019). Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon [*Salmo salar*] does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(8), 1191-1205. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1619938>
- Bierschenk, B. M., Pander, J., Mueller, M., & Geist, J.

- [2019]. Fish injury and mortality at pumping stations: a comparison of conventional and fish-friendly pumps. *Marine and Freshwater Research*, 70(3), 449. <https://doi.org/10.1071/MF18116>
- Ciji, A., & Akhtar, M. S. [2021]. Stress management in aquaculture: a review of dietary interventions. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2190–2247. <https://doi.org/10.1111/raq.12565>
- Cook, D. G., & Herbert, N. A. [2012]. The physiological and behavioural response of juvenile kingfish (*Seriola lalandi*) differs between escapable and inescapable progressive hypoxia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 413, 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.12.006>
- Costas, B., Rêgo, P. C. N. P., Conceição, L. E. C., Dias, J., & Afonso, A. [2013]. Dietary arginine supplementation decreases plasma cortisol levels and modulates immune mechanisms in chronically stressed turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture Nutrition*, 19(SUPL.1), 25–38. <https://doi.org/10.1111/anu.12086>
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. [2012]. Recirculating Aquaculture Systems. In *Aquaculture Production Systems* (pp. 245–277). <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch11>
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B., & Little, D. C. [2019]. Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*, 106, 103547. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103547>
- FAO. [2018]. Tilapia markets and producers diversifying as tradicional larg players lag. Retrieved from Market Reports website: <http://www.fao.org/in-action/globefish/market-reports/resource-detail/en/c/1156017/>
- FAO. [2020]. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Fernández-Alacid, L., Sanahuja, I., Ordóñez-Grande, B., Sánchez-Nuño, S., Herrera, M., & Ibarz, A. [2019]. Skin mucus metabolites and cortisol in meagre fed acute stress-attenuating diets: Correlations between plasma and mucus. *Aquaculture*, 499, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.039>
- Flores, A. [2019]. *Contexto, perspectivas y retos para incrementar la contribución de la pesca y la acuicultura a la seguridad alimentaria y nutricional y las economías territoriales en América Latina y el Caribe. - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latí*. Santiago de Chile.
- Francis-Floyd, R. [2002]. *Stress-Its Role in Fish Disease*. University of Florida, Gainesville: University of Florida IFAS Extension Circular 919.
- Gabriel, U. U., & Akinrotimi, O. [2011]. Management of stress in fish for sustainable aquaculture development. *Researcher*, 2(4), 28–38.
- Gao, X., Pi, D., Chen, N., Li, X., Liu, X., Yang, H., ... Zhang, X. [2018]. Survival, Virulent Characteristics, and Transcriptomic Analyses of the Pathogenic *Vibrio anguillarum* Under Starvation Stress. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00389>
- García, A., & Calvario, O. [2008]. *Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria*. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Glencross, B., & Rutherford, N. [2009]. Dietary strategies to improve the growth and feed utilization of barramundi, *Lates calcarifer* under high water temperature conditions. *Aquaculture Nutrition*, 16(4), 343–350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00670.x>
- Hambrey, J. [2017]. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular FIAA/C1141 (En) THE 2030 AGENDA AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: THE CHALLENGE FOR AQUACULTURE DEVELOPMENT AND MANAGEMENT*.
- Harmon, T. S. [2009]. Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. *Reviews in Aquaculture*, 1(1), 58–66. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01003.x>
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. [2015]. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Herrera, M., Fernández-alacid, L., Sanahuja, I., Ibarz, A., Salamanca, N., & Morales, E. [2020]. Physiological and metabolic effects of a tryptophan-enriched diet to face up chronic stress in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture*, 522(February), 735102. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735102>
- Herrero Ramón, M. J. [2007]. Ritmos de actividad motora, comportamiento alimentario e influencia de la

- melatonina exógena en peces teleósteos. Universidad de Murcia.
- Hong, J., Chen, X., Liu, S., Fu, Z., Han, M., Wang, Y., ... Ma, Z. (2019). Impact of fish density on water quality and physiological response of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) flingerlings during transportation. *Aquaculture*, 507, 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.040>
- Hoseinifar, S. H., Esteban, M. Á., Cuesta, A., & Sun, Y.-Z. (2015). Prebiotics and Fish Immune Response: A Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(4), 315-328. <https://doi.org/10.1080/23308249.2015.1052365>
- Ido, A., Iwai, T., Ito, K., Ohta, T., Mizushige, T., Kishida, T., ... Miura, T. (2015). Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). *Applied Entomology and Zoology*, 50(2), 213-221. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0325-z>
- Jerez Cepa, I., Ruiz-Jarabo, I., & Mancera, J. M. (2019). Animal Welfare in Fish Aquaculture: Stress Attenuation through the Diet and the Use of Anesthetics during Transport. *Derecho Animal. Forum of Animal Law Studies*, 10(4), 85. <https://doi.org/10.5565/rev/da.463>
- Józefiak, A., & Engberg, R. (2017). Insect proteins as a potential source of antimicrobial peptides in livestock production. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 26(2), 87-99. <https://doi.org/10.22358/jafs/69998/2017>
- Khan, M. A., & Abidi, S. F. (2014). Dietary histidine requirement of Singhi, *Heteropneustes fossilis* fry (Bloch). *Aquaculture Research*, 45(8), 1341-1354. <https://doi.org/10.1111/are.12081>
- Köhler, R., Kariuki, L., Lambert, C., & Biesalski, H. K. (2019). Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(1), 372-378. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.02.002>
- Kumar, P., Thirunavukkarasu, A. R., Subburaj, R., & Thiagarajan, G. (2015). Concept of Stress and Its Mitigation in Aquaculture. In *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture* (pp. 95-100). https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2_10
- Kuntadi, K., Adalina, Y., & Maharani, K. E. (2018). NUTRITIONAL COMPOSITIONS OF SIX EDIBLE INSECTS IN JAVA. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 5(1), 57-68. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2018.5.1.57-68>
- Mackett, D. B., Tam, W. H., & Fryer, J. N. (1992). Histological changes in insulin-immunoreactive pancreatic β -cells, and suppression of insulin secretion and somatotrope activity in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) maintained on reduced food intake or exposed to acidic environment. *Fish Physiology and Biochemistry*, 10(3), 229-243. <https://doi.org/10.1007/BF00004517>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2014.07.008>
- Mateus, A. P., Power, D. M., & Canário, A. V. M. (2017). Stress and Disease in Fish. In *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00008-9>
- Maule, A. G., Schreck, C. B., & Kaattari, S. L. (1987). Changes in the Immune System of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the Parr-to-Smolt Transformation and after Implantation of Cortisol. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(1), 161-166. <https://doi.org/10.1139/f87-021>
- Mazur, C. F., & Iwama, G. K. (1993). Effect of handling and stocking density on hematocrit, plasma cortisol, and survival in wild and hatchery-reared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 112(4), 291-299. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90390-K](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90390-K)
- Mohapatra, S., Chakraborty, T., Kumar, V., DeBoeck, G., & Mohanta, K. N. (2013). Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3), 405-430. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01301.x>
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245-256. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., ... Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>
- Pickering, A. D., & Pottinger, T. G. (1989). Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry*, 7(1-6), 253-258. <https://doi.org/10.1007/BF00004714>

- Pickering, A. D., Pottinger, T. G., Carragher, J., & Sumpter, J. P. (1987). The effects of acute and chronic stress on the levels of reproductive hormones in the plasma of mature male brown trout, *Salmo trutta* L. *General and Comparative Endocrinology*, 68(2), 249–259. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(87\)90036-0](https://doi.org/10.1016/0016-6480(87)90036-0)
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
- Sambras, F., Fjellidal, P. G., Remø, S. C., Hevrøy, E. M., Nilsen, T. O., Thorsen, A., ... Waagbø, R. (2017). Water temperature and dietary histidine affect cataract formation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) diploid and triploid yearling smolt. *Journal of Fish Diseases*, 40(9), 1195–1212. <https://doi.org/10.1111/jfd.12594>
- Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y.-O., & Lee, S.-M. (2018). Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*). *Aquaculture*, 496, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.012>
- Sharpe, C. S. (2007). Physiological Stress Responses to Automated and Hand Vaccine Injection Procedures in Yearling Coho Salmon. *North American Journal of Aquaculture*, 69(2), 180–184. <https://doi.org/10.1577/A06-004.1>
- Shefat, S. H. T., & Abdul, M. K. (2018). Nutritional Diseases of Fish in Aquaculture and Their Management : A Review. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences* [ISSN : 2581-5423] Nutritional Diseases of Fish in Aquaculture and Their Management : A Review. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 2(December), 50–58
- Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T. S., & Seland, A. (1997). Handling Stress and Storage Temperature Affect Meat Quality of Farmed-raised Atlantic Salmon (*Salmo Salar*). *Journal of Food Science*, 62(4), 898–905. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15482.x>
- Sneddon, L. U., Wolfende, D. C. C., & Thomson, J. S. (2016). Stress management and welfare. In *Fish Physiology: Biology of stress in fish*. Elsevier, 2016.
- Taufek, N. M., Aspani, F., Muin, H., Raji, A. A., Razak, S. A., & Alias, Z. (2016). The effect of dietary cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on growth performance, antioxidant enzyme activities, and haematological response of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 42(4), 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0204-8>
- Tocher, D. R. (2010). Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 41(5), 717–732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x>
- Tran, G., Heuzé, V., & Makkar, H. P. S. (2015). Insects in fish diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 37–44. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0018>
- Vanderzwalmen, M., Eaton, L., Mullen, C., Henriquez, F., Carey, P., Snellgrove, D., & Sloman, K. A. (2018). The use of feed and water additives for live fish transport. *Reviews in Aquaculture*, 1–16. <https://doi.org/10.1111/raq.12239>
- Vanderzwalmen, M., Eaton, L., Mullen, C., Henriquez, F., Carey, P., Snellgrove, D., & Sloman, K. A. (2019). The use of feed and water additives for live fish transport. *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 263–278. <https://doi.org/10.1111/raq.12239>
- Wang, L., Li, J., Jin, J. N., Zhu, F., Roffeis, M., & Zhang, X. Z. (2017). A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment. *Aquaculture Nutrition*, 23(5), 983–993. <https://doi.org/10.1111/anu.12466>
- Wigglesworth, V. B. (2020). Insects. Retrieved from Encyclopedia Britannica website: <https://www.britannica.com/animal/insect>
- Woynarovich, E., & Horváth, L. (1981). *Propagación artificial de peces de aguas templadas: manual para extensionistas*.
- Xu, X., Ji, H., Yu, H., & Zhou, J. (2018). Influence of replacing fish meal with enzymatic hydrolysates of defatted silkworm pupa (*Bombyx mori* L.) on growth performance, body composition and non-specific immunity of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis*). *Aquaculture Research*, 49(4), 1480–1490. <https://doi.org/10.1111/are.13603>
- Yogev, U., Barnes, A., Giladi, I., & Gross, A. (2020). Potential environmental impact resulting from biased fish sampling in intensive aquaculture operations. *Science of The Total Environment*, 707, 135630. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135630>